

基于Gabor滤波器的糖尿病视网膜新生血管检测

张嘉阳, 黄河, 刘子怡, 金家林, 张家拓
锦州医科大学公共基础学院, 辽宁 锦州 121001

【摘要】目的:采用Gabor滤波器实现眼底图像中新生血管检测,帮助医生准确确定糖尿病视网膜病变的分期。**方法:**对眼底图像进行预处理,并使用不同尺度参数和方向参数Gabor滤波器作用于预处理图像,并在尺度参数确定的情况下取各方向输出结果的最大值作为最后Gabor滤波器的输出。**结果:**对比分析不同尺度参数的Gabor滤波器的结果,发现小尺度参数的Gabor滤波器在新生血管部分具有较强的输出。**结论:**本研究提出的Gabor滤波器可以很好地区分眼底图像中正常血管与新生血管结构。

【关键词】糖尿病;眼底图像;新生血管;Gabor滤波器;检测

【中图分类号】R587.1;Q-334

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2018)08-0968-04

Gabor filter-based detection of neovascularization due to diabetic retinopathy

ZHANG Jiayang, HUANG He, LIU Ziyi, JIN Jialin, ZHANG Jiatuo

College of Public Basic Sciences, Jinzhou Medical University, Jinzhou 121001, China

Abstract: Objective To achieve neovascularization detection in fundus images using Gabor filter for assisting doctors to determine the stages of diabetic retinopathy accurately. **Methods** Fundus images were preprocessed, and then the Gabor filters with different scale and directional parameters were applied to process the preprocessed images. The maximum value of the output in each direction was taken as the final output of Gabor filter on condition that the scale parameters were determined. **Results** The comparison of results obtained by Gabor filters with different scale parameters showed that Gabor filter with small scale parameters had strong outputs in neovascularization. **Conclusion** The proposed Gabor filter can accurately distinguish normal blood vessels and neovascularization in fundus images.

Keywords: diabetes; fundus image; neovascularization; Gabor filter; detection

前言

目前糖尿病在全球慢性病的死亡率排行中已跃居第二^[1]。近年来糖尿病的患病率和死亡率出现逐年增高的趋势^[2-3]。糖尿病直接医疗费以年均19.90%的速度增长,超过同期国内生产总值以及全国卫生总费用的增长^[4]。糖尿病视网膜病变是大多数国家最重要的致盲性眼病,对糖尿病进行筛查,尽早发现糖尿病高危个体,对其进行干预并促使其转归为正

常血糖人群,这对于延缓糖尿病发展,遏制其在我国加速流行具有重要意义^[5-7]。

目前,视网膜病变筛查主要利用眼底相机拍摄得到的眼底彩色图像对糖尿病性视网膜病变进行早期诊断^[8],血管结构是眼底图像分析的一个重要研究领域。潘立丰等^[9]根据眼底图像的灰度分布特征,提出了一种新的基于自适应阈值化的血管提取方法;张东波等^[10]提出病变视网膜血管骨架的提取方法;Hassan等^[11]利用视网膜新生血管的区域特征来检测新生血管所在区域,提出眼底二维血管提取方法。

视网膜新生血管是区分糖尿病视网膜病变非增殖期和增殖期的重要特征之一^[12-13]。由于视网膜新生血管与一般血管相似度高,而且一般都比较细小,往往只有1像素宽,并且可以呈现出伞状、花状、珊瑚状等各种各样的结构,很难运用检测一般血管结构的增强算法来进行增强。本研究提出一种基于Gabor滤波器对糖尿病视网膜新生血管进行检测的

【收稿日期】2018-02-04

【基金项目】辽宁省2015年国家级大学生创新创业训练计划项目(201510160000038);辽宁医学院校长基金-奥鸿博泽大学生科技创新基金(2015D19)

【作者简介】张嘉阳,硕士研究生,主要研究方向:心血管病理学与病理生理学,E-mail: zhangjiayang0912@163.com

【通信作者】黄河,硕士,讲师,主要研究方向:图像处理相关技术,E-mail: lnmuhuanghe@qq.com

方法,通过对比实验来验证不同参数的 Gabor 滤波器对新生血管和正常血管的检测效果。

1 Gabor 滤波器

二维的 Gabor 函数^[14]可以表示为:

$$\text{Gabor}(x, y) = \exp(i(k_0 x + k_1 y + \psi)) \exp(-\frac{1}{2}(\frac{u^2}{\sigma_u^2} + \frac{v^2}{\sigma_v^2})) \quad (1)$$

$$u = x \cos \theta + y \sin \theta, v = -x \sin \theta + y \cos \theta \quad (2)$$

其中, x, y 为函数两个方向的坐标, (k_0, k_1) 被定义为复合指数频率的向量; θ 代表 Gabor 函数平行条纹方向; ψ 代表相位补偿; σ_u 和 σ_v 分别代表 Gabor 函数在平行条纹方向 u 和平行条纹法线方向 v 的标准差^[15]。本研究中, $\sigma_u = 3\sigma_v$ 以保证 Gabor 函数呈椭圆形,可用于匹配局部血管片段^[16-17]。

根据上述的公式可知, Gabor 滤波器的特性是由方向参数 θ 和尺度参数 σ_u, σ_v 共同决定的。通过方向参数的调整可以匹配不同方向的血管结构,而通过尺度参数的调整可以使函数匹配不同粗细的血管结构。

2 基于 Gabor 滤波器的眼底图像新生血管检测

算法

2.1 眼底图像的预处理

由于眼底图像在绿色分量上,血管和其他组织的对比度较高,易于完成血管结构的增强^[18],因此本研究选择图像绿色分量进行处理。由于在拍摄眼底图像时,会产生不均匀的光照效果,因此在对视网膜血管进行检测前,需去除不均匀光照效果^[14]。本研究使用大模板的均值滤波器作用于眼底图像来估计不均匀光照,在此之后采用绿色通道的图像减去估计的不均匀光照,从而去除不均匀光照效果。

2.2 眼底图像的 Gabor 滤波

本研究使用的 Gabor 滤波器中,保证 $\sigma_u = \sigma$, $\sigma_v = 3\sigma_v = 3\sigma$,以此来匹配一段局部的血管片段。 σ 同时也是一个尺度参数,由 σ 决定 Gabor 滤波器尺寸及可以匹配血管结构的粗细程度。

图 1 展现了不同方向 Gabor 函数模板的实部、虚部以及傅里叶变换结果,从图 1 可以看出,改变参数 θ 可以在频域中选择不同方向的结构。因此,一个角度为 θ 的 Gabor 函数模板可以选择在频域内 θ 方向的频率,从而增强在空间域中选择角度为 θ 的结构。Gabor 滤波器是在某一方向上的低通滤波器,高频信号不能通过,因此用 Gabor 滤波器可以在一定程度上滤除噪声并实现对血管的检测^[19-21]。

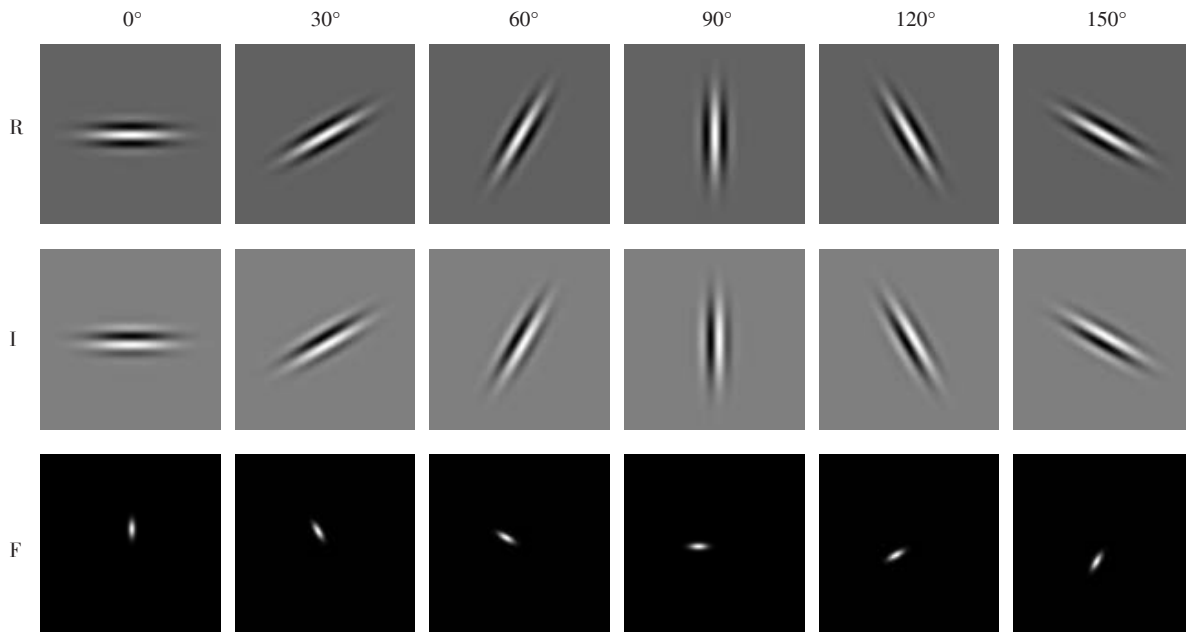


图 1 不同方向的 Gabor 函数

Fig.1 Gabor functions in different directions

R and I are the real and imaginary parts of the Gabor function, respectively, and F is the Fourier spectrum of the Gabor function

为了使 Gabor 滤波器输出不变到旋转,也可以首先计算出每个方向的滤波输出,然后获得最大的输出绝对值。Gabor 滤波器对图像的滤波可用下式

表示:

$$I_{out}(x, y) = \max_{\theta} |I_{in}(x, y) * g_{\theta}(x, y)| \quad (3)$$

其中, $I_{in}(x, y)$ 代表预处理后的图像; $I_{out}(x, y)$ 是

Gabor滤波器最终的输出结果; * 表示卷积; || 表示模运算。式(3)表示最终的输出结果在每个像素上等于6个方向上的Gabor滤波器的输出结果的最大值,这样就很好匹配各个方向上新生血管的特征。

3 结果与讨论

图2给出了测试图像及请眼科专家标记的视网膜图像的正常血管及新生血管所在的位置。

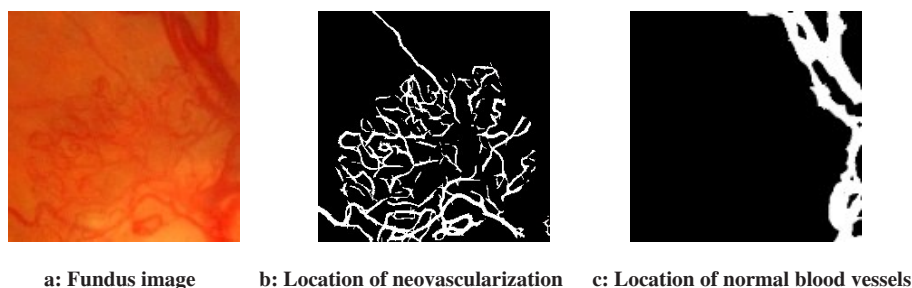


图2 眼科专家标记的视网膜图像

Fig.2 Retinal image processed by ophthalmologists

图3显示输出6个方向的卷积,从 0° 到 150° ,每 30° 作为一个间隔,从这些图像中可以看到,在带有 θ 角度的核将会增强 θ 方向的结构,如 30° Gabor滤波器卷积之后的图像将与 30° 方向上的结构相匹配, 60°

Gabor滤波器卷积之后的输出将会增强 60° 方向上的结构。Gabor滤波器最后的输出是所有方向的最大值,在图3中的Maximum列显示。

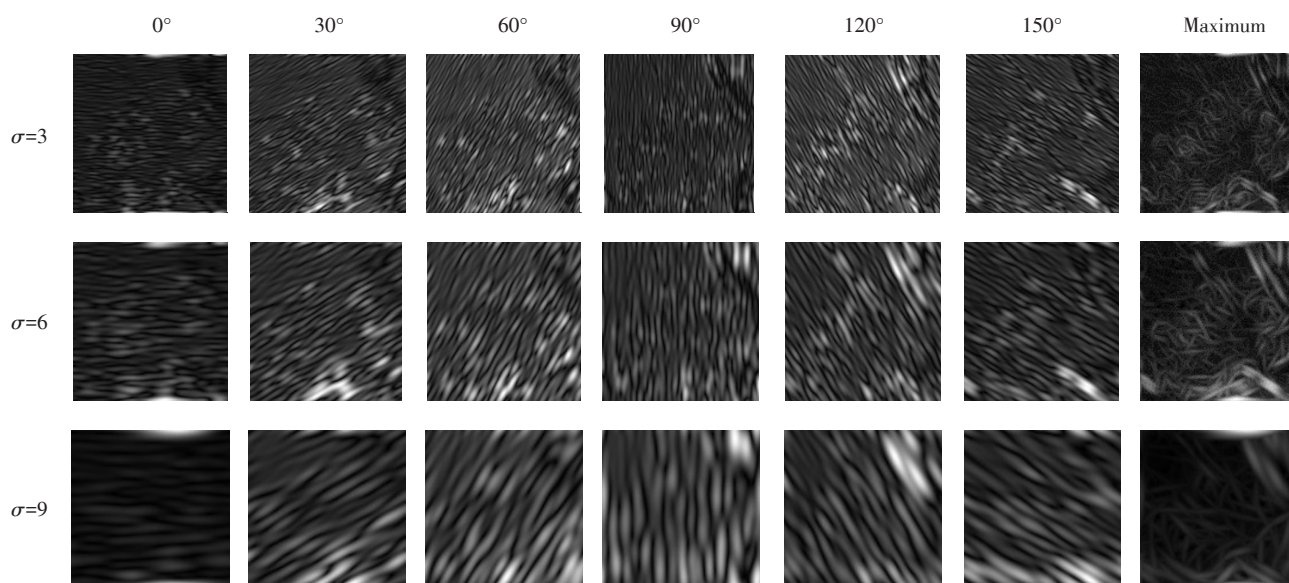


图3 不同尺度下使用不同方向Gabor滤波器的输出结果

Fig.3 Outputs of Gabor filters with different scales in different directions

尺度参数 σ 可以控制内核的大小,并且可以与不同尺寸的结构进行匹配。对于小 σ 的滤波器,其可以匹配细微结构,然而,对于大 σ 的滤波器,其可以匹配较粗的血管。

我们可使用不同的尺度的Gabor来检测新生血管。对比图3中 $\sigma=3$ 和 $\sigma=9$ 的Gabor滤波器的最终输出结果,可以发现当 $\sigma=3$ 时,眼底图像中新生血管部分有较强的输出结果,而对于 $\sigma=9$ 输出结果来

说,正常血管部分有较强的输出。通过调整Gabor滤波器的尺度参数可以很好地区分眼底图像中正常血管与新生血管结构。

4 结论

本研究采用Gabor滤波器实现了对眼底图像中的新生血管的检测。虽然眼底图像中新生血管难以检测,但由于Gabor滤波器对于图像的边缘非常敏

感,能够提供很好的方向选择和尺度选择特性,对眼底图像中的新生血管的结构具有较好的检测效果,因此可以借助Gabor滤波器辅助眼科医生做出诊断,并借此来标记和显示新生血管的区域。

【参考文献】

- [1] 杨华章,陈亮.糖尿病的现状与进展[J].实用医学杂志,2004,20(11):1209-1211.
YANG H Z, CHEN L. The status and progress of diabetes[J]. The Journal of Practical Medicine, 2004, 20(11): 1209-1211.
- [2] 陈辰,周金意,韩仁强,等.江苏省糖尿病死亡率变化趋势分析[J].中华疾病控制杂志,2014,18(6):512-514.
CHEN C, ZHOU J Y, HAN R Q, et al. Trend of diabetes mortality among residents in Jiangsu province [J]. Chinese Journal of Disease Control & Prevention, 2014, 18(6): 512-514.
- [3] 方博,韩明,蔡任之,等.2002-2014年上海市居民糖尿病死亡特征[J].环境与职业医学,2016,33(6):553-556,561.
FANG B, HAN M, CAI R Z, et al. Diabetes mortality characteristics in residents in Shanghai, 2002-2014[J]. Journal of Environmental & Occupational Medicine, 2016, 33(6): 553-556, 561.
- [4] 张敏,李建香,马文静,等.我国糖尿病流行病学和疾病经济负担研究现状[J].世界最新医学信息文摘,2017,17(56):176.
ZHANG M, LI J X, MA W J, et al. Current status of epidemic and economic burden of diabetes mellitus in China [J]. World Latest Medicine Information, 2017, 17(56): 176.
- [5] 李雯,杨眉,戈玉蓉.免散瞳眼底照相在糖尿病视网膜病变筛查中的应用价值[J].中国社区医师,2018,34(7):133-134.
LI W, YANG M, GE Y R. Application value of non-mydratric fundus photography in the screening of diabetic retinopathy [J]. Chinese Community Doctors, 2018, 34(7): 133-134.
- [6] 侯丽霞.激光治疗糖尿病视网膜病变的疗效观察[J].中国药物与临床,2015,15(7):1015-1016.
HOU L X. Therapeutic effect of laser therapy on diabetic retinopathy [J]. Chinese Remedies & Clinics, 2015, 15(7): 1015-1016.
- [7] 林秀琴,熊义斌,肖键,等.免散瞳眼底照相筛查不同分期糖尿病视网膜病变意义[J].中国实用医药,2017,12(16):110-112.
LIN X Q, XIONG Y B, XIAO J, et al. Significance of non mydratric fundus photography for screening different stages of diabetic retinopathy [J]. China Practical Medicine, 2017, 12(16): 110-112.
- [8] 姚毅,赵军平,马志中,等.糖尿病眼底病防治指南[J].继续医学教育,2005,19(11):33-43.
YAO Y, ZHAO J P, MA Z Z, et al. Prevention and cure guide on diabetic fundus [J]. Continuing Medical Education, 2005, 19(11): 33-43.
- [9] 潘立丰,王利生.一种视网膜血管自适应提取方法[J].中国图象图形学报,2006,11(3):310-316.
PAN L F, WANG L S. Extracting blood vessels in retinal images by adaptive thresholding [J]. Journal of Image and Graphics, 2006, 11(3): 310-316.
- [10] 张东波,尚星宇.病变视网膜图像的血管骨架提取方法研究[J].电子测量与仪器学报,2011,25(9):749-755.
ZHANG D B, SHANG X Y. Extracting blood centerline adapted for retinal fundus images with pathologies [J]. Journal of Electronic Measurement and Instrument, 2011, 25(9): 749-755.
- [11] HASSAN S S, BONG D B, PREMSANTHIL M. Detection of neovascularization in diabetic retinopathy [J]. J Digit Imaging, 2012, 25(3): 437-444.
- [12] 张召弟,李娟,郭晟,等.糖尿病性视网膜病变的治疗新进展[J].牡丹江医学院学报,2017,38(6):113-115,125.
ZHANG Z D, LI J, GUO S, et al. New advances in the treatment of diabetic retinopathy [J]. Journal of Mudanjiang Medical University, 2017, 38(6): 113-115, 125.
- [13] 刘晔青.视网膜激光光凝治疗不同分期糖尿病视网膜病变的疗效[J].中外医学研究,2014,12(18):51-53.
LIU Y Q. Therapeutic effect of retinal laser photocoagulation in the treatment of diabetic retinopathy in different stages [J]. Chinese and Foreign Medical Research, 2014, 12(18): 51-53.
- [14] 严旭东,吴锡生.自适应Gabor特征的协同表示人脸识别算法[J].传感器与微系统,2018,37(3):118-122.
YAN X D, WU X S. Adaptive Gabor feature extraction and collaboration representation face recognition algorithm [J]. Transducer and Microsystem Technologies, 2018, 37(3): 118-122.
- [15] 闵永智,程天栋,殷超,等.基于GLCM与自适应Gabor滤波器组的纹理图像分割[J].计算机工程,2017,43(1):280-286.
MIN Y Z, CHENG T D, YAN C, et al. Texture image segmentation based on GLCM and self-adaptive Gabor filter bank [J]. Computer Engineering, 2017, 43(1): 280-286.
- [16] 吴奎,蔡冬梅,贾鹏,等.基于2D Gabor小波与组合线检测算子的视网膜血管分割[J].科学技术与工程,2016,16(12):106-112.
WU K, CAI D M, JIA P, et al. Retinal vessel segmentation based on 2D Gabor wavelet and combined line operators [J]. Science Technology and Engineering, 2016, 16(12): 106-112.
- [17] 闫俊强,乔志伟,王强.改进的二维变换Gabor小波滤波器特征提取算法[J].计算机工程与设计,2016,37(10):2675-2678,2709.
YAN J Q, QIAO Z W, WANG Q. Feature extraction algorithm based on improved 2D Gabor wavelet filter [J]. Computer Engineering and Design, 2016, 37(10): 2675-2678, 2709.
- [18] 郑绍华,陈健,潘林,等.基于定向局部对比度的眼底图像视盘检测方法[J].中国生物医学工程学报,2014,33(3):289-296.
ZHENG S H, CHEN J, PAN L, et al. Optic disc detection on retinal images based on directional local contrast [J]. Chinese Journal of Biomedical Engineering, 2014, 33(3): 289-296.
- [19] 王晓红,赵于前,廖苗,等.基于多尺度2D Gabor小波的视网膜血管自动分割[J].自动化学报,2015,41(5):970-980.
WANG X H, ZHAO Y Q, LIAO M, et al. Automatic segmentation for retinal vessel based on multi-scale 2D Gabor wavelet [J]. Acta Automatica Sinica, 2015, 41(5): 970-980.
- [20] 王润民,姚畅,刘建勋.基于Gabor小波的视网膜血管自动提取研究[J].计算机工程与应用,2011,47(18):88-90.
WANG R M, YAO C, LIU J X. Method of retinal vessel segmentation based on Gabor wavelet [J]. Computer Engineering and Applications, 2011, 47(18): 88-90.
- [21] 刘尚平,陈骥.基于Gabor滤波与数学形态学的视网膜图像增强方法[J].光电子·激光,2010,21(2):318-322.
LIU S P, CHEN J. Enhancement method for retinal images based on Gabor filter and morphology [J]. Journal of Optoelectronics · Laser, 2010, 21(2): 318-322.

(编辑:谭斯允)